

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

# **Функціональні матеріали і покриття**

Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України  
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів

Харків – 2013

УДК 539.51(075.8)  
ББК 30.37+22.37я73  
Ф 35

Рецензенти:

**Проценко І. Ю.** – професор, доктор фізико-математичних наук, Сумський державний університет, м. Суми;

**Клименко С. А.** – професор, доктор технічних наук, Інститут надтвердих матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України, м. Київ;

**Лавриненко С. Д.** – старший науковий співробітник, доктор технічних наук, Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, м. Харків.

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України  
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів  
(лист № 1/11-3434 від 18.02.13 квітня 2012 р.)*

**Функціональні матеріали і покриття** : навчальний посібник /  
Ф 35 [М. О. Азаренков, В. М. Береснєв, С. В. Литовченко та ін.]. – Х. : ХНУ  
імені В. Н. Каразіна, 2013. – 208 с.

**ISBN 978-966-623-967-2**

У навчальному посібнику викладені методи одержання і властивості функціональних матеріалів і покриттів. Наводяться методи дослідження властивостей матеріалів. Посібник відповідає однойменному спеціальному курсу, який читається на кафедрі матеріалів реакторобудування та фізичних технологій фізико-технічного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

**УДК 539.51(075.8)**

**ББК 30.37+22.37я73**

ISBN 978-966-623-967-2

© Харківський національний університет  
імені В. Н. Каразіна, 2013

© Азаренков М. О., Береснєв В. М.,  
Литовченко С. В., Чишкала В. О.,  
Турбін П. В., 2013

© Будник О. В., макет обкладинки, 2013

# ЗМІСТ

---

ПЕРЕДМОВА .....	6
РОЗДІЛ 1	
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ .....	9
1.1. Загальна характеристика електротехнічних матеріалів .....	9
1.2. Металеві матеріали (провідники) з високою провідністю .....	12
1.2.1. Мідь та її сплави .....	13
1.2.2. Алюміній і його сплави .....	16
1.2.3. Благородні метали .....	18
1.2.4. Тугоплавкі метали .....	20
1.3. Матеріали з високим питомим опором .....	22
1.3.1. Матеріали для нагрівальних елементів .....	25
1.3.2. Сплави для термопар .....	26
1.3.3. Припої .....	27
1.4. Неметалічні провідники .....	28
1.4.1. Матеріали на основі графіту .....	28
1.5. Напівпровідникові матеріали .....	31
1.6. Діелектричні матеріали .....	33
1.6.1. Рідкі діелектрики .....	35
1.6.2. Тверді діелектрики .....	37
1.7. Надпровідні матеріали .....	41
1.8. Магнітні матеріали .....	43
1.8.1. Класифікація магнітних матеріалів .....	43
1.8.2. Магнітом'які матеріали .....	44
1.8.3. Магнітотверді матеріали .....	47
Контрольні питання до розділу 1 .....	51
Список використаної літератури до розділу 1 .....	52

## РОЗДІЛ 2

КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ .....	53
2.1. Загальна характеристика композиційних матеріалів .....	53
2.1.2. Дисперсно-зміцнені композиційні матеріали .....	57
2.1.3. Волокнисті композиційні матеріали .....	60
2.2. Композиційні матеріали на неметалічній основі .....	66
2.3. Керамічні композиційні матеріали .....	69
Контрольні питання до розділу 2 .....	71
Список використаної літератури до розділу 2 .....	71

## РОЗДІЛ 3

АМОРФНІ МАТЕРІАЛИ .....	72
3.1. Природа аморфного стану .....	72
3.2. Загальні закономірності аморфізації і кристалізації .....	73
3.3. Властивості аморфних матеріалів .....	78
3.4. Способи отримання АМС .....	81
3.5. Застосування аморфних матеріалів .....	84
Контрольні питання до розділу 3 .....	91
Список використаної літератури до розділу 3 .....	91

## РОЗДІЛ 4

МЕТОДИ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНІ .....	92
4.1. Класифікація методів поверхневої обробки .....	92
4.2. Механічні, термічні і термомеханічні методи .....	93
4.3. Гальванічні і хіміко-термічні методи .....	103
4.4. Фізичні методи осадження покриттів (PVD) .....	108
4.4.1. Магнетронні розпилювальні системи .....	108
4.4.2. Вакуумно-дугове осадження .....	111
4.4.3. Застосування іонно-плазмових покриттів у сучасній техніці .....	114
4.5. Іонна імплантація .....	116
4.6. Плазмохімічне осадження .....	121
Контрольні питання до розділу 4 .....	121
Список використаної літератури до розділу 4 .....	124

## РОЗДІЛ 5

МАТЕРІАЛИ З ОСОБЛИВИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ .....	125
5.1. Сплави з особливими властивостями теплового розширення ...	125
5.1.1. Властивості сплавів із мінімальним ТКР .....	127

5.2. Матеріали з ефектом пам'яті форми .....	129
5.2.1. Отримання сплавів із пам'яттю форми .....	132
5.2.2. Застосування матеріалів із ефектом пам'яті форми .....	133
5.3. Надтверді матеріали .....	137
5.4. Наноматеріали .....	140
5.4.1. Основні поняття .....	140
5.4.2. Особливості структури наноматеріалів .....	141
5.5. Методи одержання наноструктурованих матеріалів .....	146
5.5.1. Одержання нанокристалічних матеріалів шляхом компактування порошків .....	148
5.5.2. Метод інтенсивної пластичної деформації .....	149
5.6. Вуглецеві наноструктури .....	151
5.7. Фізико-механічні властивості наноматеріалів .....	159
5.8. Плівки і покриття з нанокристалічною структурою .....	165
5.9. Сфери застосування наноструктурованих матеріалів .....	175
Контрольні питання до розділу 5 .....	179
Список використаної літератури до розділу 5 .....	179
<b>РОЗДІЛ 6</b>	
<b>МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ</b>	
<b>І ПОКРИТТІВ .....</b>	<b>182</b>
6.1. Оптична і просвічуюча електронна мікроскопія .....	182
6.1.1. Оптична мікроскопія .....	183
6.1.2. Електронна мікроскопія .....	185
6.2. Спектральні методи дослідження .....	191
6.3. Рентгенівські методи аналізу .....	194
6.4. Термоаналітичні методи .....	195
6.5. Механічні випробування .....	197
6.5.1. Механічні властивості, що визначаються при статичних випробуваннях .....	198
6.5.2. Механічні властивості, що визначаються при динамічних випробуваннях .....	201
6.5.3. Механічні властивості, що визначаються при циклічних випробуваннях .....	202
6.5.4. Механічні випробування твердих тіл на нанотвердість .....	202
6.5.5. Адгезійна міцність покриттів .....	203
Контрольні питання до розділу 6 .....	205
Список використаної літератури до розділу 6 .....	205